

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-283853

(43)Date of publication of application : 13.10.2000

(51)Int.Cl.

G01J 9/00

G01B 11/00

G01J 1/04

(21)Application number : 11-091802

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 31.03.1999

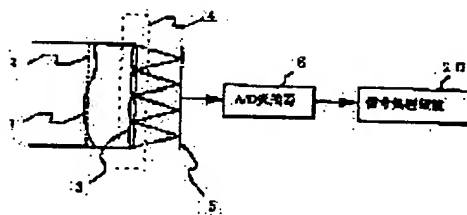
(72)Inventor : SUZUKI JIRO
TAMAGAWA YUKIHISA

(54) WAVEFRONT SENSOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To accurately measure a wavefront in a short time by obtaining coordinates of a converged spot by a calculation of binarizing the center of gravity, and calculating a wavefront of a light to be measured from the coordinates of the spot.

SOLUTION: The wavefront sensor comprises a lens array 4 having a plurality of condenser lenses, a two-dimensional detector 5, an A-D converter 6 and a signal processor 20. The detector 5 converts a converged spot generated by converting the light to be measured having passed through the array 4 into an image signal. The converter 6 converts an output of the detector 5 into a digital image signal. The processor 20 obtains coordinates of the spot in the spot existing area from the signal of the converter 6 by a calculation of binarizing the center of gravity, and calculates the wavefront of the light to be measured from the coordinates of the spot.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-283853

(P2000-283853A)

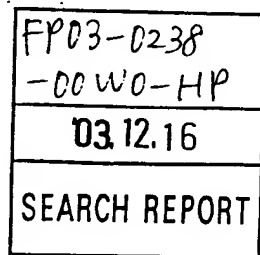
(43) 公開日 平成12年10月13日 (2000. 10. 13)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト [*] (参考)
G 0 1 J 9/00		G 0 1 J 9/00	2 F 0 6 5
G 0 1 B 11/00		G 0 1 B 11/00	H 2 G 0 6 5
G 0 1 J 1/04		G 0 1 J 1/04	A

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平11-91802

(22) 出願日 平成11年3月31日 (1999. 3. 31)



(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 鈴木 二郎

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72) 発明者 玉川 恭久

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74) 代理人 100057874

弁理士 曾我 道照 (外6名)

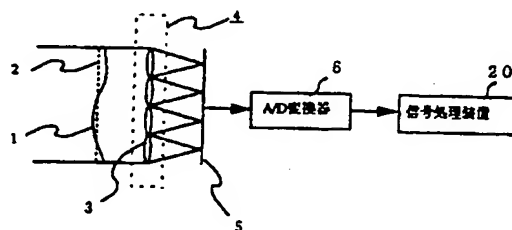
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波面センサ

(57) 【要約】

【課題】 短時間でかつ高精度で波面を計測することができる波面センサを提供する。

【解決手段】 複数の集光レンズでなるレンズアレイ4と、レンズアレイを透過した被計測光が収束されて生じる集光スポットを画像信号に変換する二次元検出器5と、二次元検出器の出力をデジタル画像信号に変換するA/D変換器6と、A/D変換器の出力であるデジタル画像信号から集光スポットの存在領域を個別に抽出し、これらの集光スポットの存在領域において集光スポットの座標を二値化重心演算により求め、これらの集光スポットの座標から被計測光の波面を計算する信号処理手段20とを備えた。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の集光レンズでなるレンズアレイと、
上記レンズアレイを透過した被計測光が収束されて生じる集光スポットを画像信号に変換する二次元検出器と、
上記二次元検出器の出力をデジタル画像信号に変換するA/D変換器と、
上記A/D変換器の出力であるデジタル画像信号から集光スポットの存在領域を個別に抽出し、これらの集光スポットの存在領域において集光スポットの座標を二値化
10 重心演算により求め、これらの集光スポットの座標から被計測光の波面を計算する信号処理手段とを備えた波面センサ。

【請求項2】 請求項1に記載の波面センサにおいて、上記信号処理手段は、あるしきい値によって二値化した集光スポットの画像信号において、しきい値以上の信号をもつ画素の中で、しきい値以下の信号をもつ画素と隣接する画素のみを対象として二値化重心演算を行うことを特徴とする波面センサ。

【請求項3】 請求項1または2に記載の波面センサにおいて、上記レンズアレイは、集光スポットの分布形状を円形にすべく開口形状を円形にしてなることを特徴とする波面センサ。

【請求項4】 請求項1または2に記載の波面センサにおいて、集光スポットの分布形状を任意の形状に整える集光スポット形状調整手段をさらに備えたことを特徴とする波面センサ。

【請求項5】 請求項4に記載の波面センサにおいて、上記集光スポット形状調整手段として、レンズアレイを構成する個々の集光レンズの開口形状を円形開口とする
30 ビンホールアレイを用いたことを特徴とする波面センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、光波の波面を計測する波面センサに関するもので、特に短い時間で高精度な計測を可能とする波面センサに関するものである。

【0002】

【従来の技術】光学望遠鏡による天体観測において、観測対象の星から到来する位相分布の乱れない平面波をばけなく結像することができる理想的な光学系が得られたとしても、観測場所が地上である場合は、観測波面がゆらぎのある大気中を伝搬する結果、その位相分布が乱れ（以下この位相分布の乱れた波面を擾乱波面という）、結像された星の像が動いたりぼけたりする問題がある。

【0003】この問題を改善する手段として、形状を自在に変形することができる補償ミラーを光学望遠鏡の光学系に組み込み、擾乱波面の位相分布に応じて補償ミラーの形状を制御することで、擾乱波面の位相分布の乱れ
50

を補償する補償光学系がある。ここで述べる波面センサは、例えば補償光学系において擾乱波面の位相分布を計測し、補償ミラーの制御量を決定する目的で用いられるものである。

【0004】従来、この種の波面センサとして図9に示すようなものがあった。この図は、“ACTIVE OPTICS EXPERIMENTS. I. SHACK-HARTMANN WAVE-FRONT ANALYZER TO MEASURE F/5MIRRORS”, Publ. Natl. Astrom. Obs. Japan Vol. 1, 49-55 (1989)に示された波面センサを示す構成図である。図において、1は擾乱波面、2は基準平面、3は集光レンズ、4はレンズアレイ、5は二次元検出器、6はA/D変換器、10は信号処理装置である。

【0005】ここで、擾乱波面1は、位相分布の乱れない平面波がゆらぎのある大気中を伝搬した結果、位相分布が乱れた波面である。また、基準平面2は、擾乱波面1の位相分布の基準となる平面である。さらに、レンズアレイ4は、複数の集光レンズ（以下レンズレット3という）で構成されたものであり、一つのレンズレット3は擾乱波面1の局所領域（以下ローカル波面という）を、レンズレット3の焦点位置におかれた二次元検出器5上に集光する。

【0006】二次元検出器5は、光電変換器を格子状に多数並べた、例えばCCDのようなものであり、レンズアレイ4によって集光された多数の集光スポットが配列した画像を電気信号に変換し、A/D変換器6に出力する。A/D変換器6は、二次元検出器5の出力である画像を表す上記電気信号を、デジタル化した画像データに変換して信号処理装置10に出力する。

【0007】信号処理装置10は、画像データ記憶手段と、基準スポット位置記憶手段と、演算処理手段とを備えており、A/D変換器6の出力である上記画像データを内部の画像データ記憶手段に取り込み、後述する一連の演算処理を行うことにより擾乱波面1の位相分布を求める。

【0008】また、上記レンズアレイ4は、図10に示すように、シリンダリカルレンズを複数並べたシリンダリカルレンズアレイ17を直交させ密着配置することで構成される。他方、レンズアレイ4は、必ずしも図10のような構造である必要はないが、レンズアレイ4を上から見た概念図である図11に示すように、二次元検出器5に不要な光が入らないように隙間無く配置する必要があり、一般的に図11のように矩形開口をもつレンズレット3から構成されている。

【0009】次に、この波面センサの動作について説明する。擾乱波面1はレンズアレイ4に入射する。図12は、レンズアレイ4を構成するレンズレット3のひとつに入射したローカル波面が、二次元検出器5上に集光する様子を示すものである。図12に示すように、レンズレット3に入射するローカル波面11は、基準平面2に

対し角度 θ をもってレンズレット3に入射する平面波に近似して考えることができる。

【0010】このとき、平面波の入射角 θ と二次元検出器5上の集光スポット変位 Δx との関係は、

$$\Delta x = x_1 - x_0 = f \cdot \tan \theta \quad \dots (1)$$

で表すことができる。ただし、 x_0 は位相分布が基準平面2に等しい波面がレンズレット3に入射したときの集光スポットの座標位置（以下基準スポット位置とい

う）、 x_1 はローカル波面11がレンズレット3に入射したときの集光スポットの座標位置（以下計測スポット位置という）、 f はレンズレット3の焦点距離である。

【0011】式(1)を変形すると、

$$\theta = \arctan (\Delta x / f) \quad \dots (2)$$

となる。式(2)より、集光スポット変位 Δx が求まればローカル波面11の入射角 θ を取得することができ

る。各レンズレット3毎に異なった範囲のローカル波面11が対応しており、これらローカル波面11の入射角 θ が取得できるので、結果として、擾乱波面1の波面傾きの分布（位相分布の微分）が取得できる。この波面傾きの分布を積分することで波面の位相分布を取得することができ

る。【0012】次に集光スポット変位 Δx を求める方法を述べる。レンズアレイ4によって集光された多数の集光スポットが配列した画像は、二次元検出器5によって電気信号に変換され、A/D変換器6に出力される。このA/D変換器6は、二次元検出器5の出力である上記電気信号をデジタル画像データに変換して演算処理装置10に出力する。

【0013】図13はこの演算処理装置10の構成とここで行う一連の処理を示す図である。この図において、7は画像データ記憶手段、8は基準スポット記憶手段、9は演算処理手段であり、12～16は演算処理手段9内の処理ステップを示している。A/D変換器6の出力であるデジタル画像データは画像データ記憶手段7に記憶される。ステップ12では、この画像データ記憶手段7に記憶されている多数の集光スポットが配列したデジタル画像データから個々の集光スポットを抽出し、それらの一つ一つに対し多階調重心演算を行う画像範囲Gを決定する。

【0014】このステップ12で行う集光スポットを抽出する処理は、例えばエッジ抽出等の一般的な画像処理を行うことで実現できる。ステップ13では、ステップ12で決定した画像範囲Gにおいて集光スポット各々の多階調重心座標を演算し、これを計測スポット位置として出力する。多階調重心 $C(Cx, Cy)$ の演算は以下の式で行われる。なお、 P は画素 (x, y) の輝度信号である。

【0015】

【数1】

$$C_x = \frac{\sum_{\substack{P \\ G}} (P \cdot x)}{\sum_{\substack{P \\ G}} P} \quad \dots (3)$$

$$C_y = \frac{\sum_{\substack{P \\ G}} (P \cdot y)}{\sum_{\substack{P \\ G}} P} \quad \dots (4)$$

【0016】式(3)、(4)による演算により求まる多階調重心により高い精度で集光スポット位置を検出できる。また、基準スポット位置記憶手段8は、レンズレット3の各々に対応する基準スポット位置を、それらがどのレンズレット3に対応するものかが分かるような符号をつけて記憶している。

【0017】ステップ14では、ステップ13の出力である上記計測スポット位置が、基準スポット位置記憶手段8に記憶されている上記基準スポット位置のどれと対応するかを判別する処理（以下対応付けという）を行い、対応する基準スポット位置と計測スポット位置とを対にして出力する。対応付けは、任意基準スポット位置と、これと距離が最も近い計測スポット位置とが対応する、と判断することで行う。

【0018】ステップ15では、ステップ14の出力である上記基準スポット位置と、計測スポット位置とから集光スポット変位 Δx を求める。ステップ16では、上記したように、ステップ15の出力である上記集光スポット変位 Δx と式(2)より擾乱波面1の波面傾きの分布を求め、これを積分することで擾乱波面1の位相分布を求める。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】以上説明したように、従来の波面センサでは、多階調重心演算により集光スポット位置検出を行っていた。波面センサの空間分解能を高めるためには多数のレンズレット3で構成されたレンズアレイ4を使用し、多数のローカル波面11の傾きの検出を行う必要がある。これに伴い、集光スポット抽出及び集光スポット位置検出に要する演算量が增大するため、波面計測に必要な演算時間が増大する。

【0020】一方、波面センサを上述した如く大気の影響による像のぼけを補正する補償光学系に用いる場合、補償の対象である波面の時間変化に対して小さい時間遅れで波面計測結果を出力することが必要である。このような使用条件においては波面センサの波面計測に必要な演算時間を短くする必要があった。

【0021】この発明は上述のような課題を解決するためになされたものであり、短時間でかつ高精度で波面を計測することができる波面センサに関するものである。

【0022】

【課題を解決するための手段】この発明に係る波面センサは、複数の集光レンズでなるレンズアレイと、上記レ

レンズアレイを透過した被計測光が収束されて生じる集光スポットを画像信号に変換する二次元検出器と、上記二次元検出器の出力をデジタル画像信号に変換するA/D変換器と、上記A/D変換器の出力であるデジタル画像信号から集光スポットの存在領域を個別に抽出し、これらの集光スポットの存在領域において集光スポットの座標を二値化重心演算により求め、これらの集光スポットの座標から被計測光の波面を計算する信号処理手段とを備えたものである。

【0023】また、上記信号処理手段は、あるしきい値によって二値化した集光スポットの画像信号において、しきい値以上の信号をもつ画素の中で、しきい値以下の信号をもつ画素と隣接する画素のみを対象として二値化重心演算を行うことを特徴とするものである。

【0024】また、上記レンズアレイは、集光スポットの分布形状を円形にすべく開口形状を円形にしていることを特徴とするものである。

【0025】また、集光スポットの分布形状を任意の形状に整える集光スポット形状調整手段をさらに備えたことを特徴とするものである。

【0026】さらに、上記集光スポット形状調整手段として、レンズアレイを構成する個々の集光レンズの開口形状を円形開口とするピンホールアレイを用いたことを特徴とするものである。

【0027】

【実施の形態】実施の形態1. 図1はこの発明の実施の形態1を示す構成図である。図中、図9と同一の記号は同一部分を示しその説明は省略する。新たな符号として、20は、A/D変換器6の出力であるデジタル画像信号から集光スポットの存在領域を個別に抽出し、これらの集光スポットの存在領域において集光スポットの座標を二値化重心演算により求め、これらの集光スポットの座標から被計測光の波面を演算する信号処理装置である。

【0028】次に、信号処理装置20の処理内容について示す。図2は実施の形態1の信号処理装置20の構成とここで行う一連の処理を示す図である。図13と同一の記号は同等部分を示し、説明を省略する。ステップ21では、ステップ12により決定された集光スポット演算範囲Gにおいて二値化重心演算により集光スポットの位置を決定する。ステップ21における二値化重心演算を式(5)、(6)に示す。

【0029】

【数2】

$$C_x = \frac{\sum_{(x,y) \in B(th)} x}{N(th)} \quad \dots \dots (5)$$

$$C_y = \frac{\sum_{(x,y) \in B(th)} y}{N(th)} \quad \dots \dots (6)$$

【0030】ここで、B(th)は集光スポット演算範囲Gにおいてしきい値thを超える輝度信号を持つ画素の集合、N(th)はしきい値thを超える画素の総数である。

【0031】次に、実施の形態1における二値化重心演算と従来例における集光スポット位置演算方法である多階調重心演算との演算量を比較する。多階調重心のx座標を求める式(3)において、Gの要素数をgとすると、分母の演算のための加算は(g-1)回、分子の演算のための加算は(g-1)回、乗算は(g-1)回を必要とする。y座標についても同じ演算内容であるから、1つの集光スポットにつき、多階調重心演算に要する演算量は、合計で、加算が4×(g-1)回、乗算が2×(g-1)回を必要とする。

【0032】一方、二値化重心のx座標を求める式(5)において、N(th)=gとすると、分子の演算に、加算が(g-1)回、分母の演算に、加算が(g-1)回必要とする。y座標についても同じ演算内容であるから、1つの集光スポットにつき、二値化重心演算に要する演算量は、合計で、加算が4×(g-1)回を必要とする。このように、従来例と比較すると、1集光スポット当たりの演算量は、乗算が2×(g-1)回分だけ少なくすむことになり、従来例と比較して処理時間短縮を図ることができる。

【0033】実施の形態2. 上述した実施の形態1によれば、二値化重心演算により処理時間を短縮することができた。一方、二値化重心演算は、多階調重心演算と比較して、集光スポット位置計測誤差が大きいのという問題がある。開口形状が円形のマイクロレンズアレイ4を用いて、集光スポットの分布形状を円形とすれば、計測誤差を低減できる。以下、そのメカニズムについて述べる。

【0034】画素ピッチで規格化した二次元検出器5上の直交座標系(x, y)を考える。集光スポットの中心が(0, 0)にあるとき、座標(x, y)にある画素の輝度信号をp=f(x, y)、集光スポットの中心が(Δx, Δy)にあるとき、輝度信号をp=f(x-Δx, y-Δy)とする。

【0035】図3は二次元検出器5上に集光された矩形の分布形状をもつ集光スポットを示す説明図である。図において、22はしきい値thに対し、th=f(x-Δx, y-Δy)が描く閉曲線、23は二次元検出器5の画素、24はしきい値thで高、低の2レベルに二値化したとき、輝度信号が高レベルである画素の座標であり、画素の座標24の集合をB(th)とする。B(th)は、閉曲線22の内側の領域にある全ての画素の座標である。

【0036】既に示したように、二値化重心C(Cx, Cy)は、式(5)、(6)のように計算されるが、以下、Cxのみについて説明する。B(th)において、y座標の最小値をy1、最大値をyn=y1+n-1とす

る。 $1 \leq k \leq n$ である k に対し、 y_k は次式 (7) で表される。

$$y_k = y_1 + k - 1 \quad \dots (7)$$

【0037】閉曲線22と直線 $y = y_k$ との交点の x 座

標を $x_{p,bin}(y_k)$ 、 $x_{m,bin}(y_k)$ ($x_{p,bin}(y_k) < x_{m,bin}(y_k)$) とする。

$y = y_k$ のとき、集合 $B(th)$ にお

*ける x 座標の最小値、及び最大値を $x_{p,bin}(y_k)$ 、 $x_{m,bin}(y_k)$ ($x_{p,bin}(y_k) < x_{m,bin}(y_k)$) とする。これらの記号を用いて式 (5) を変形すると式 (8) のように表される。

【0038】

【数3】

$$C_x = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{x=x_{p,bin}(y_k)}^{x_{m,bin}(y_k)} x}{\sum_{k=1}^n W(y_k)} = \frac{\sum_{k=1}^n \frac{W(y_k)(x_{p,bin}(y_k) + x_{m,bin}(y_k))}{2}}{\sum_{k=1}^n W(y_k)}$$

... (8)

$$= \sum_{k=1}^n \left\{ \frac{W(y_k)}{\sum_{k=1}^n W(y_k)} \cdot C_{x,1}(y_k) \right\}$$

【0039】ここで、 $W(y_k)$ は、 $B(th)$ の要素の

うち、 $y = y_k$ であるものの数であり、次式 (9) で表

$$W(y_k) = x_{p,bin}(y_k) - x_{m,bin}(y_k) + 1 \quad \dots (9)$$

また、 $C_{x,1}(y_k)$ は、次式 (10) で表される。

★【数4】

【0040】

$$C_{x,1}(y_k) = \frac{x_{p,bin}(y_k) + x_{m,bin}(y_k)}{2}$$

... (10)

【0041】図4は $C_{x,1}(y_k)$ を示す説明図である。図4において、図3と同じ記号は同一箇所を示す。また、座標24は x 座標が $x_{p,bin}(y_k)$ 、 $x_{m,bin}(y_k)$ であるもののみを記し、他は省略している。25は座標 ($C_{x,1}(y_k)$ 、 y_k) である。 $C_{x,1}(y_k)$ は式 (10) より、は離散的な値をもつので、図4のように集光スポットの中心の x 座標 Δx とずれが生じる。このずれを $\Delta C_{x,1}(y_k)$ とすると、 $C_{x,1}(y_k) - \Delta x = \Delta C_{x,1}(y_k)$ である。

【0042】 $\Delta C_{x,1}(y_k)$ の確率密度は図5のように計算される。式 (8) から、 C_x は $C_{x,1}(y_k)$ に $W(y_k)$ の重みをつけて平均した数値と考えることができるが、図4のような矩形の分布をもつ集光スポットの場合、 $C_{x,1}(y_k)$ は $k=1, n$ において一定であるので、 C_x は $C_{x,1}(y_k)$ と等しい。従って、誤差集光スポット位置検出誤差の x 成分を ΔC_x とすると、 ΔC_x は $\Delta C_{x,1}(y_k)$ に等しく、図5のような確率密度をもつ。

【0043】次に、集光スポットの分布が円形の場合を述べる。図6は円形の分布をもつ集光スポットにおける $C_{x,1}(y_k)$ を示す説明図である。図6において、図4と同じ記号は同一部分を示し、説明を省略する。このよ

うに、集光スポットの分布が円形の場合は、異なる k について、 $C_{x,1}(y_k)$ は一定でなく、集光スポットの中心 Δx の近傍ではらつく。先に述べたように、 C_x は $C_{x,1}(y_k)$ に $W(y_k)$ の重みをつけて平均した数値であるから、その誤差 ΔC_x は $\Delta C_{x,1}(y_k)$ よりも小さくなることが予想される。

【0044】図7は図6のような円形の分布の集光スポットにおいて、 C_x の誤差 ΔC_x の確率密度を集光スポットの径 D を変えて計算したものである。図5と比較すると、計測誤差0付近の確率密度が大きくなっている。すなわち、集光スポットの分布を円形としたことで、 ΔC_x の計測誤差を小さくすることができる。

【0045】実施の形態3。先に述べたように、式 (8) において、 C_x は $C_{x,1}(y_k)$ に $W(y_k)$ の重みをつけて平均した数値であるが、 $W(y_k)$ の重み付けを省略して平均化しても実施の形態2と同様の効果が得られると考える。以下、これを簡易二値化重心という。簡易二値化重心 C' (C'_x 、 C'_y) は次式 (11)、 (12) のように表される。

【0046】

【数5】

$$C_x = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{x_{p,bin}(y_k) + x_{m,bin}(y_k)}{2}$$

.....(11)

$$= \frac{1}{2n} \sum_{k=1}^n \{x_{p,bin}(y_k) + x_{m,bin}(y_k)\}$$

$$C_y = \frac{1}{2n'} \sum_{k=1}^{n'} \{y_{p,bin}(x_k) + y_{m,bin}(x_k)\}$$

.....(12)

【0047】ここで、 n' はB(th)におけるy座標の最小値と最大値をそれぞれ x_1 、 x' としたとき、次の式(13)で表される。

$$n' = x' - x_1 + 1 \quad \dots (13)$$

【0048】このように、式が簡単になるので、処理時間を短くすることができる。すなわち、式(5)、

(6)に示すしきい値以上の信号を持つ画素の中で、しきい値以下の信号を持つ画素と隣接する画素のみを対象として式(11)、(12)に従って簡易二値化重心演算を行うことで、式が簡単になるので、処理時間を短くすることができる。

【0049】実施の形態4. 図6に示したような分布の集光スポットは、レンズレットの開口形状を円形とすることで得られる。図8は実施の形態4のレンズアレイの構成を示す構成図である。図8において、26はレンズレットに対応した位置にピンホールを設けた薄い金属板である。このように、構成することで従来の矩形開口のレンズアレイ2を円形開口にすることができ、集光スポットは円形の分布となるので、計測誤差を小さくすることができ

【0050】なお、実施の形態4では、開口を円形とするためにピンホールを設けた薄い金属板26を用いたが、円形開口を適用できるものであればなんでもよい。例えば、不透明インクで同様のパターンを印刷した透明フィルムを使っても良い。

【0051】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、集光スポットの座標を二値化重心演算により求め、それらの集光スポットの座標から被計測光の波面を演算するようになったので、短時間でかつ高精度で波面を計測することができる。

【0052】また、簡易二値化重心演算により集光スポットの座標を求めるようにしたので、式が簡単になるので、処理時間を短くすることができる。

【0053】また、レンズアレイの開口形状を円形にすることにより、集光スポットの分布形状を円形にすることができる。

【0054】また、集光スポット形状調整手段により、集光スポットの形状を円形またはその他の形状に変化さ

せることで、信号処理の際に集光スポットの座標の検出誤差を小さくすることができ、結果として高い精度で波面を計測することができる。

【0055】さらに、ピンホールアレイを用いて矩形開口のレンズアレイを円形開口とすることができ、信号処理の際に集光スポットの座標の検出誤差を小さくすることができ、結果として高い精度で波面を計測することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1に係る波面センサを示す構成図である。

【図2】 実施の形態1の信号処理装置20の構成とここで行う一連の処理を示す図である。

【図3】 二次元検出器5上に集光された矩形の分布形状をもつ集光スポットを示す説明図である。

【図4】 $C_{x,1}(y_k)$ を示す説明図である。

【図5】 $\Delta C_{x,1}(y_k)$ の確率密度の説明図である。

【図6】 円形の分布をもつ集光スポットにおける

$C_{x,1}(y_k)$ を示す説明図である。

【図7】 図6のような円形の分布の集光スポットにおいて、 C_x の誤差 ΔC_x の確率密度を集光スポットの径Dを変えて計算した確率密度の説明図である。

【図8】 実施の形態4のレンズアレイを示す構成図である。

【図9】 従来の波面センサを示す構成図である。

【図10】 従来例によるレンズアレイの構成図である。

【図11】 他の従来例によるレンズアレイの構成図である。

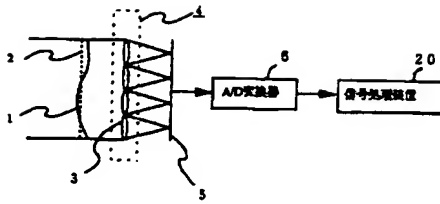
【図12】 レンズアレイを構成するレンズレットのひとつに入射したローカル波面が二次元検出器上に集光する様子を示す説明図である。

【図13】 図9の演算処理装置10の構成とここで行う一連の処理を示す説明図である。

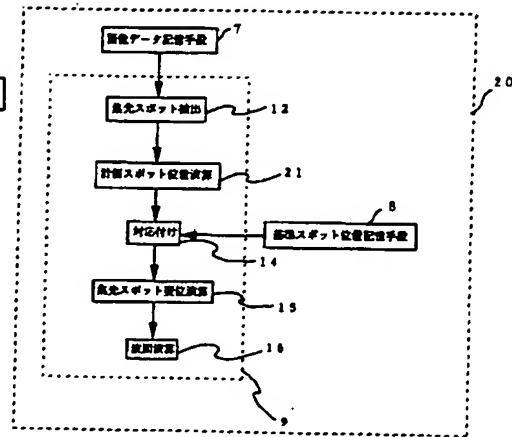
【符号の説明】

4 レンズアレイ、5 二次元検出器、6 A/D変換器、20 信号処理装置、26 ピンホールを設けた薄い金属板。

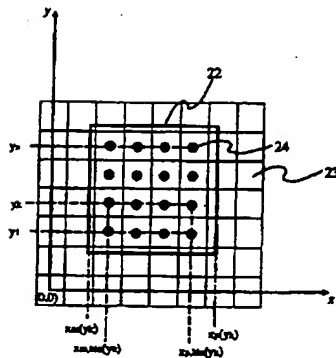
【図1】



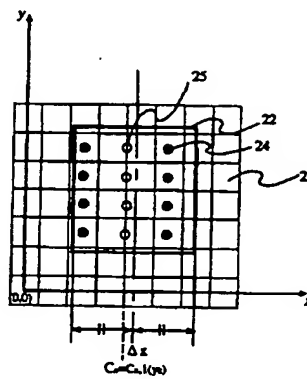
【図2】



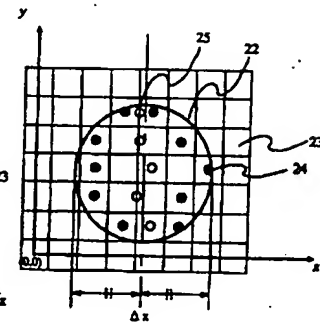
【図3】



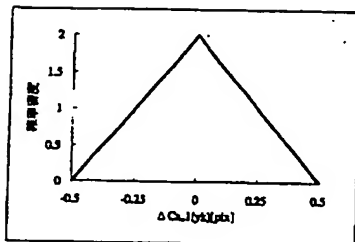
【図4】



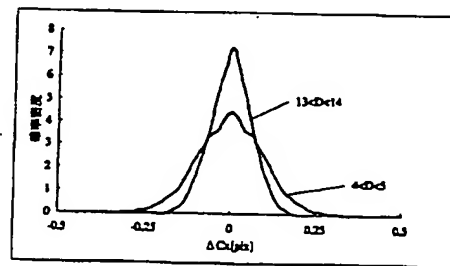
【図6】



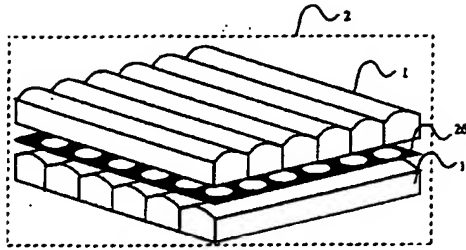
【図5】



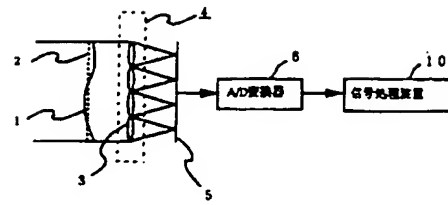
【図7】



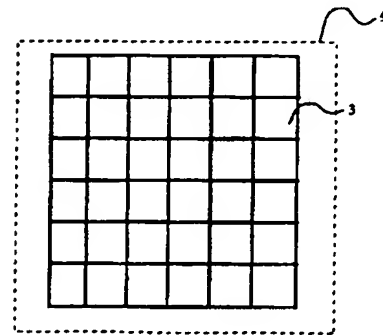
【図8】



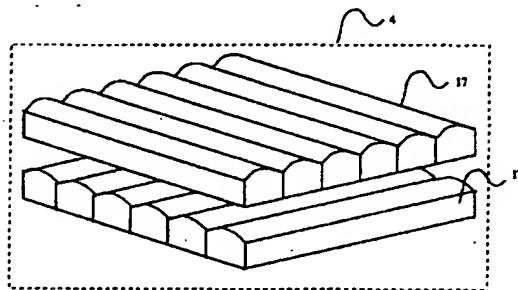
【図9】



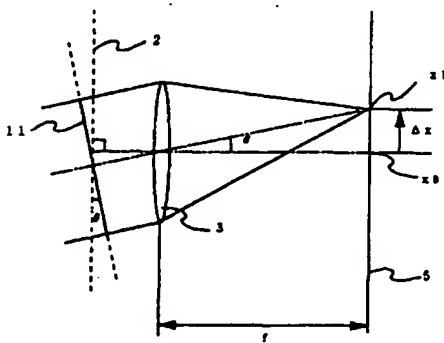
【図11】



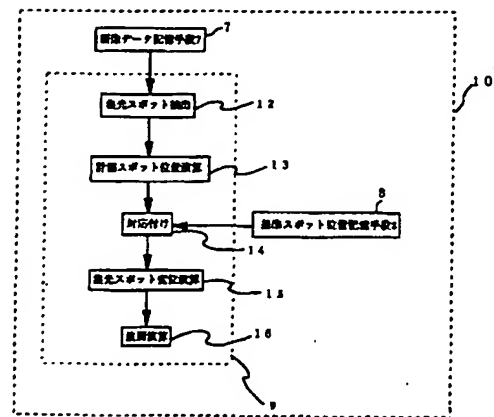
【図10】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2F065 AA04 AA17 AA54 CC00 DD06
 FF01 JJ26 LL10 LL30 QQ03
 QQ05 QQ41 QQ42
 2G065 AA11 BA34 BB06 BB22 BC07
 BC13 BC14 BC28 DA20